

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-260307
 (43)Date of publication of application : 24.09.1999

(51)Int.Cl.

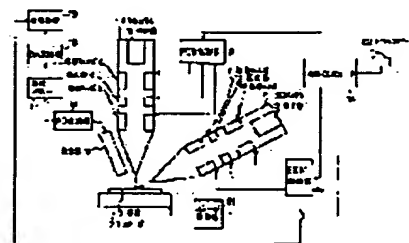
H01J 37/305
 H01J 37/04
 H01J 37/28
 H01L 21/66

(21)Application number : 10-060841
 (22)Date of filing : 12.03.1998

(71)Applicant : JEOL LTD
 (72)Inventor : SAKATA TAKAHIDE

(54) CONVERGED ION BEAM APPARATUS**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a converged ion beam apparatus, capable of radiating ion beam with the optimum electric current corresponding to the scanning range (magnification) of the ion beam on a specimen.
SOLUTION: An FIB control part 8 for controlling a converging lens 4, an objective lens 5, and a deflecting apparatus 6 in an FIB column 1 is controlled by a condition setting means 25, which is controlled by a host computer 14. The condition setting means 25 is provided with a soft mode condition unit 26, a normal mode condition unit 27, and a hard mode condition unit 28. Respective condition units 26, 27, 28 are stored as tables of variable ranges of radiation electric current dl/dS per unit surface area corresponding to the respective magnifications. When the type of a specimen and the processing magnification are set, electric current stored in any one of the condition units is read out and according to that, the FIB control part 28 is controlled.

**LEGAL STATUS**

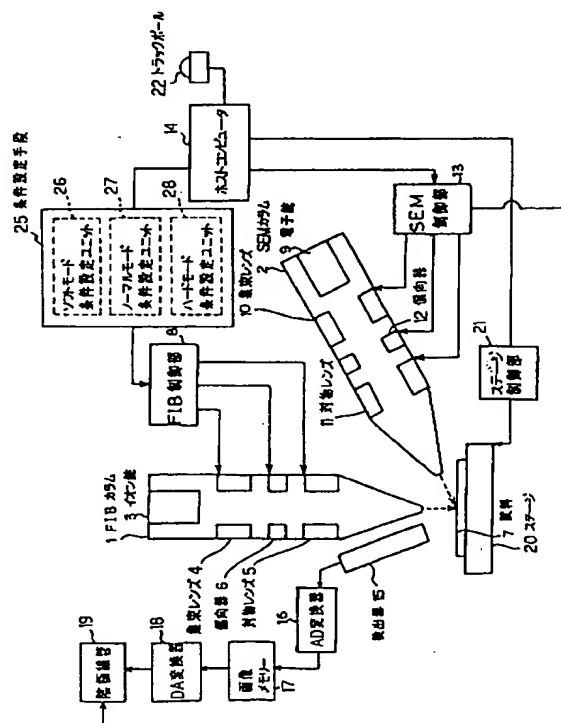
[Date of request for examination]
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal-for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成11年(1999)9月24日



【特許請求の範囲】

【請求項1】 イオン源からのイオンビームを試料上に細く集束すると共に、試料上でイオンビームの照射位置を2次元的に走査し、試料を加工するようにした集束イオンビーム装置において、試料に照射される電流量をイオンビームの2次元走査範囲に応じて変化させるように構成した集束イオンビーム装置。

【請求項2】 試料に照射される電流量範囲を複数種類用意し、この電流量範囲を選択できる手段を備えた請求項1記載の集束イオンビーム装置。

【請求項3】 集束イオンビームによって加工された試料断面に電子ビームを照射して走査電子顕微鏡像を観察することができるSEM機能とを備えた請求項1記載の集束イオンビーム装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、試料に集束イオンビームを照射して加工し、その加工断面を走査電子顕微鏡機能で観察するようにした集束イオンビーム装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 集束イオンビーム(FIB-Focused Ion Beam)装置は、イオン源からのイオンビームを細く集束し、加工試料に照射して試料をエッチング等により加工する装置である。このFIB装置の応用分野の中でも、特にFIBによるエッチング技術は、かなりポピュラーなものとなってきている。

【0003】 この技術を用いたFIB装置は、マイクロマシン加工はもとより、半導体デバイスの不良解析や透過電子顕微鏡試料の作成に広く利用されている。特に最も注目されている半導体デバイスの3次元解析としては、もはや不可欠の装置となりつつある。また、現在では、従来のインライン型走査電子顕微鏡(SEM)装置にFIB機能を付加したデュアルビーム(Dual Beam-DB)装置も徐々にではあるが普及しつつある。

【0004】 DB装置(FIB-SEM装置)は、半導体の不良解析装置として対応すべく、従来までのFIB装置としてエッチング加工した後、SEM装置へ試料を移して観察するといった工程を一台で行える複合装置である。

【0005】 これは、通常のFIB単能機と同様に、試料上面にイオンビームを照射して、任意の場所をエッチング加工し、加工終了後、試料の移動なしにすぐにそのエッチング加工された断面をSEM像で観察できるという利点を有している。その結果、不良解析に絶大な威力とその工程の時間の短縮、それに伴う歩留まり管理とその速度、また、複合装置ゆえの床面積の縮小、価格のダウン等が期待されており、今後ますます普及が進むと予想される。

【0006】 上記したFIB-SEM装置の構成は、大

きく分けてFIB制御部、SEM制御部、試料を載せたステージの制御部からなり、それぞれをホストコンピュータにより制御している。この装置では、通常、試料の垂直方向の上からイオンビームを当ててエッチングし、その穴の断面に試料面から30°の角度で電子ビームを当てて、その断面の構造を観察している。イオンビームで加工されたサンプルは、試料面に垂直な断面を作り、その断面は、イオンビームの電流量、プローブ径に依存するが、ほとんど試料面に垂直に切り出される。

【0007】 図1に上記したFIB-SEM装置の一例を示す。図中1はFIBのカラム、2はSEMのカラムである。FIBカラム1の中には、イオン銃3と、イオン銃3から発生し加速されたイオンビームを集束する集束レンズ4、対物レンズ5、イオンビームを2次元的に走査するための偏向器6が設けられている。なお、イオンビーム用の集束レンズ4、対物レンズ5は静電レンズが使用される。

【0008】 イオン銃3から発生したイオンビームは、集束レンズ4、対物レンズ5によって試料7上に細く集束されると共に、試料7に照射されるイオンビームの照射位置は、偏向器6によって走査できるように構成されている。これら集束レンズ4、対物レンズ5、偏向器6はFIB制御部8によって制御される。

【0009】 例えば、試料7に照射されるイオンビームの電流量を変化させる場合には、FIB制御部8によって集束レンズ4、対物レンズ5を制御し、各レンズの強度を制御してイオンビームの集束度合いを変化させ、イオンビームの光路中に設けられた絞り(図示せず)を通過するイオンビームの量を制御する。また、イオンビームを試料上で2次元のあるいはライン状に走査する場合には、FIB制御部8から偏向器6に走査信号が供給される。

【0010】 SEMカラム2の中には、電子銃9と、電子銃9から発生した電子ビームを集束する集束レンズ10、対物レンズ11、電子ビームを2次元的に走査するための偏向器12が設けられている。なお、電子ビーム用の集束レンズ10、対物レンズ11は電磁レンズが使用される。

【0011】 電子銃9から発生した電子ビームは、集束レンズ10、対物レンズ11によって試料7上に細く集束されると共に、試料7に照射される電子ビームの照射位置は、偏向器12によって走査できるように構成されている。これら集束レンズ10、対物レンズ11、偏向器12はSEM制御部13によって制御される。

【0012】 例えば、試料7に照射される電子ビームの電流量を変化させる場合には、SEM制御部13によって集束レンズ10、対物レンズ11を制御し、各レンズの強度を制御して電子ビームの集束度合いを変化させ、電子ビームの光路中に設けられた絞り(図示せず)を通過する電子ビームの量を制御する。また、電子ビームを

試料上で2次元あるいはライン状に走査する場合には、SEM制御部13から偏向器12に走査信号が供給される。なお、SEM制御部13とFIB制御部8は、ホストコンピュータ14によってコントロールされる。

【0013】試料7への電子ビームあるいはイオンビームの照射によって試料から発生した2次電子は、2次電子検出器15によって検出される。検出器15によって検出された信号は、AD変換器16によってデジタル信号に変化された後、画像メモリー17に供給されて記憶される。画像メモリー17に記憶された信号は読み出されてDA変換器18に供給され、DA変換器18によってアナログ信号に変換された信号は陰極線管19に供給される。

【0014】試料7はステージ20上に載せられている。ステージ20はステージ制御部21により、水平方向の2次元移動、回転、傾斜ができるように構成されている。ステージ制御部21は、ホストコンピュータ14によってコントロールされる。このような構成の動作を次に説明する。

【0015】まず、FIBによる試料7の加工が行われる。この試料の加工は、FIBカラム1内のイオン銃2からイオンビームを発生させ、このイオンビームを集束レンズ4、対物レンズ5によって試料7上に細く集束すると共に、イオンビームを偏向器6によってライン状に走査する。この際、試料ステージ18をイオンビームのライン状の走査の方向と垂直な方向に移動させる。

【0016】図2はこの様子を示しており、試料7は矢印Sの逆の方向にゆっくりと移動させられ、その間、イオンビームIBは紙面に垂直の方向にライン状に走査される。この時、イオンビームIBの電流量は、大きな加工レートを保つために、例えば、1000pA程度とされている。この結果、試料7には矩形状の開口23が穿たれる。この開口23の深さは、イオンビームの電流量、イオンビームの走査速度、試料の移動速度による。

【0017】通常のFIB-SEM装置においては、試料7に対する開口23の形成後、断面部分Dに対してSEMカラム2から電子ビームEBを照射すると共に、断面部分Dで電子ビームを2次元的に走査する。この走査に基づいて断面部分Dから発生した2次電子は、2次電子検出器15によって検出される。この検出信号は、陰極線管19に供給されることから、陰極線管19には断面部分Dの走査電子顕微鏡像が得られる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】上記した装置で試料の加工を行なう場合、イオン源3からのイオンビームは、対物レンズ5で細く絞られ、試料の加工領域を走査するべく偏向器6で制御される。そして、試料上での集束イオンビームの走査を十分な深さとなるまで繰り返し、加工が終了すると加工断面の観察を行なう。

【0019】このような従来の集束イオンビーム装置で

は、一度イオンビームの電流を設定すると、後はオペレータが電流を再設定することをしない限り、倍率（イオンビームの2次元走査領域）を低倍にしても高倍にしても電流はそのままである。すなわち、試料の単位面積当たりの照射電流は倍率を変えるごとに変化することになる。

【0020】従来の装置では、オペレータが倍率を変えて、例えば、高い倍率にして精度良く微細加工を行なおうとした場合、照射電流をより小さな電流になるように再設定していた。この方式では、同じ電流でも倍率を上げ、単位面積当たりの照射電流を大きくした場合、試料を精度よく加工するという観点から、再度小さな照射電流（イオンビームをより細く絞ることを意味する）にマニュアルで設定し直さなければならないという問題があった。

【0021】本発明は、このような点に鑑みてなされたもので、その目的は、試料上のイオンビームの走査範囲（倍率）に応じて最適な電流のイオンビームを照射することができる集束イオンビーム装置を実現するにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】第1の発明に基づく集束イオンビーム装置は、イオン源からのイオンビームを試料上に細く集束すると共に、試料上でイオンビームの照射位置を2次元的に走査し、試料を加工するようにした集束イオンビーム装置において、試料に照射される電流量をイオンビームの2次元走査範囲に応じて変化させるように構成したことを特徴としている。

【0023】第1の発明では、試料に照射されるイオンビームの電流量を倍率（イオンビームの2次元走査範囲）に応じて変化させる。第2の発明に基づく集束イオンビーム装置は、第1の発明において、試料に照射される電流量範囲を複数種類用意し、この電流量範囲を選択できる手段を備えたことを特徴としている。

【0024】第2の発明では、試料に照射されるイオンビームの電流量を、試料の種類と倍率（イオンビームの2次元走査範囲）に応じて変化させる。第3の発明に基づく集束イオンビーム装置は、第1の発明において、集束イオンビームによって加工された試料断面に電子ビームを照射して走査電子顕微鏡像を観察することができるSEM機能とを備えたことを特徴としている。

【0025】第3の発明では、試料に照射されるイオンビームの電流量を倍率（イオンビームの2次元走査範囲）に応じて変化させて試料を加工し、加工断面をSEM機能によって観察する。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図2は、本発明に基づくFIB-SEM装置を示しており、図1に示した従来装置と同一ないしは類似の構成要素には同一番号を付しその詳細な説明は省略する。

【0027】この図2に示した実施の形態では、FIBカラム1中の集束レンズ4、対物レンズ5、偏向器6を制御するFIB制御部8は、ホストコンピュータ14によってコントロールされる条件設定手段25により制御される。条件設定手段25は、ソフトモード条件ユニット26、ノーマルモード条件ユニット27、ハードモード条件ユニット28を備えている。各条件ユニット26、27、28は、それぞれ倍率に応じた単位面積当たりの照射電流 dI/dS の可変範囲がテーブルの形で記憶されている。

【0028】ソフトモード条件ユニット26は、イオンビームに対してエッチングされやすい試料の場合に選択されるユニット、ノーマルモード条件ユニット27は、イオンビームに対して標準的にエッチングされる試料の場合に選択されるユニット、ハードモード条件ユニット28は、イオンビームに対してエッチングされにくい試料の場合に選択されるユニットである。

【0029】例えば、ソフトモード条件ユニット26では、エッチングされやすい試料に適用される最小電流 V_{Smin} と最大電流 V_{Smax} に対して、 $V_{Smin} \leq dI/dS \leq V_{Smax}$ の電流範囲が記憶されている。

【0030】また、ノーマルモード条件ユニット27では、標準的にエッチングされる試料に適用される最小電流 V_{Nmin} と最大電流 V_{Nmax} に対して、 $V_{Nmin} \leq dI/dS \leq V_{Nmax}$ の電流範囲が記憶されている。

【0031】更に、ハードモード条件ユニット28では、エッチングされにくい試料に適用される最小電流 V_{Hmin} と最大電流 V_{Hmax} に対して、 $V_{Hmin} \leq dI/dS \leq V_{Hmax}$ の電流範囲が記憶されている。なお、上記した各可変範囲はオペレータが任意に変更できるものである。

【0032】ここで、試料7がイオンビームに対してエッチングされやすい試料の場合、ホストコンピュータ14により条件設定手段25内のソフトモード条件ユニット26が選択される。次にトラックボール22等を用いて倍率を設定すると、ホストコンピュータ14、条件設定手段25、FIB制御部8を介して、偏向器6が設定倍率に応じた範囲を2次元走査するように動作する。

【0033】更にその際、ソフトモード条件ユニット26内で倍率に応じた電流値が読み出され、この電流値となるようにFIB制御部8を介して集束レンズ4、対物レンズ5を制御する。

【0034】次に、試料7がイオンビームに対して標準的にエッチングされる試料の場合、ホストコンピュータ14により条件設定手段25内のノーマルモード条件ユニット27が選択される。次にトラックボール22等を用いて倍率を設定すると、ホストコンピュータ14、条件設定手段25、FIB制御部8を介して、偏向器6が

設定倍率に応じた範囲を2次元走査するように動作する。

【0035】更にその際、ノーマルモード条件ユニット27内で倍率に応じた電流値が読み出され、この電流値となるようにFIB制御部8を介して集束レンズ4、対物レンズ5を制御する。

【0036】更に、試料7がイオンビームに対してエッチングされにくい試料の場合、ホストコンピュータ14により条件設定手段25内のハードモード条件ユニット28が選択される。次にトラックボール22等を用いて倍率を設定すると、ホストコンピュータ14、条件設定手段25、FIB制御部8を介して、偏向器6が設定倍率に応じた範囲を2次元走査するように動作する。

【0037】更にその際、ハードモード条件ユニット28内で倍率に応じた電流値が読み出され、この電流値となるようにFIB制御部8を介して集束レンズ4、対物レンズ5を制御する。

【0038】このように図3の構成により、試料の種類、倍率に応じて最適なイオンビームの電流値が選択できるので、どのような試料でも、どのような倍率であっても、常に自動的に精度良くイオンビームによる加工を行なうことができる。

【0039】図4は図3の構成による動作の一例のフローチャートであり、動作をスタートさせた場合、まず、観察モードか加工モードかの設定を行なう。観察モードが設定された場合、試料7に照射されるイオンビームの電流は倍率に連動せず、一定とされる。なお、このモードでは、イオンビームを試料7に照射した結果、試料から発生した2次電子を検出器7により検出し、試料の走査像を得る。

【0040】加工モードが選択された場合、加工する試料のタイプの設定が行なわれる。すなわち、ソフトモード条件ユニット26、ノーマルモード条件ユニット27、ハードモード条件ユニット28のいずれかの選択が行なわれる。ソフトモード条件ユニット26が選択された場合、上記したようにイオンビームの電流 dI/dS は、倍率に応じて、

$$V_{Smin} \leq dI/dS \leq V_{Smax}$$

の範囲で変えられる。ノーマルモード条件ユニット27が選択された場合、上記したようにイオンビームの電流 dI/dS は、倍率に応じて、

$$V_{Nmin} \leq dI/dS \leq V_{Nmax}$$

の範囲で変えられる。ハードモード条件ユニット28が選択された場合、上記したようにイオンビームの電流 dI/dS は、倍率に応じて、

$$V_{Hmin} \leq dI/dS \leq V_{Hmax}$$

の範囲で変えられる。

【0041】以上本発明の実施の形態を詳述したが、本発明はこの形態に限定されない。例えば、試料の種類によって電流可変範囲を3種類用意し、そのいずれかを選

択できるように構成したが、装置の使用目的に応じ、イオンビームの電流可変範囲は1種類でも良く、また、2種類あるいは4種類以上であっても良い。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように、第1の発明では、試料に照射されるイオンビームの電流量を倍率（イオンビームの2次元走査範囲）に応じて変化させるように構成したので、常に倍率に応じて自動的に最適な電流量で試料の加工を行なうことができる。

【0043】第2の発明では、試料に照射されるイオンビームの電流量を、試料の種類と倍率（イオンビームの2次元走査範囲）に応じて変化させるように構成したので、常に試料の種類と倍率に応じて自動的に最適な電流量で試料の加工を行なうことができる。

【0044】第3の発明では、試料に照射されるイオンビームの電流量を倍率（イオンビームの2次元走査範囲）に応じて変化させて試料を加工し、加工断面をSEM機能によって観察するように構成したので、常に倍率に応じて自動的に最適な電流量で試料の加工を行ない、その加工断面をSEM機能により観察することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のFIB-SEM装置を示す図である。

【図2】試料のイオンビームによる加工と加工断面の走査電子顕微鏡像観察の様子を示す図である。

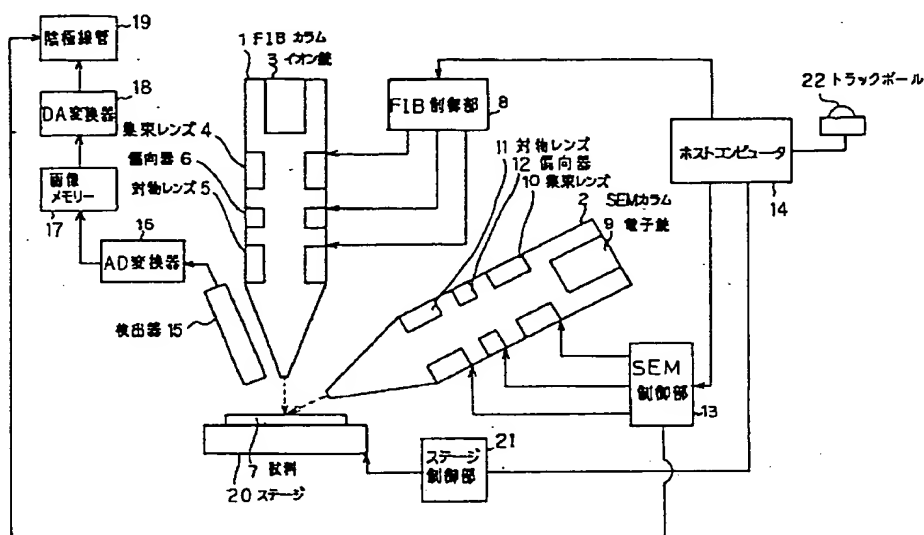
【図3】本発明に基づく集束イオンビーム装置を示す図である。

【図4】図3の装置の動作のフローチャートを示す図である。

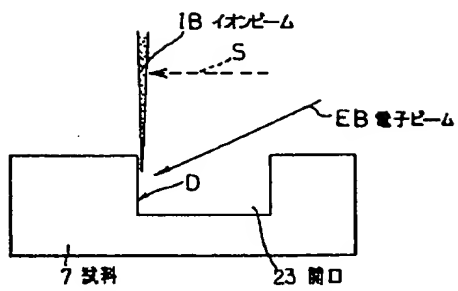
【符号の説明】

- 1 FIBカラム
- 2 SEMカラム
- 3 イオン銃
- 4, 10 集束レンズ
- 5, 11 対物レンズ
- 6, 12 偏向器
- 7 試料
- 8 FIB制御部
- 9 電子銃
- 13 SEM制御部
- 14 ホストコンピュータ
- 15 2次電子検出器
- 16 AD変換器
- 17 画像メモリ
- 18 DA変換器
- 19 陰極線管
- 25 条件設定手段
- 26 ソフトモード条件ユニット
- 27 ノーマルモード条件ユニット
- 28 ハードモード条件ユニット

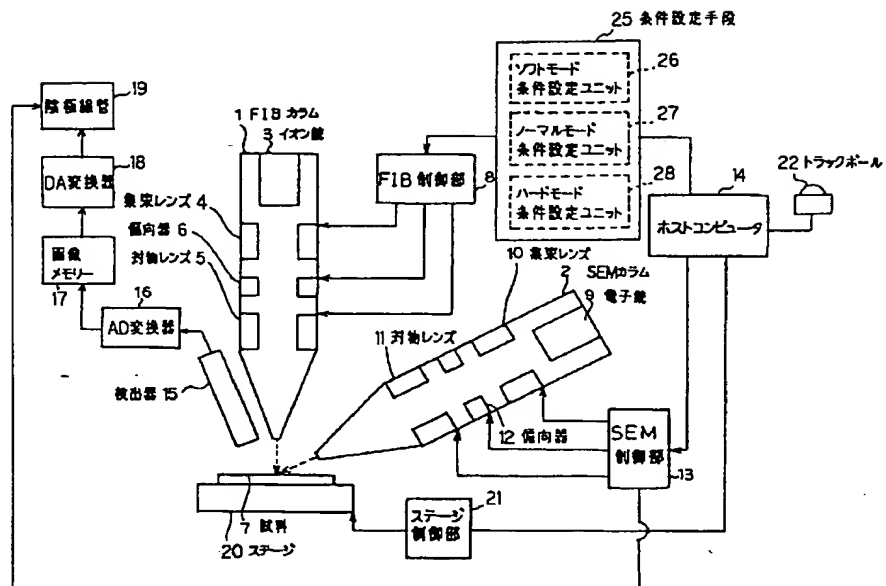
【図1】



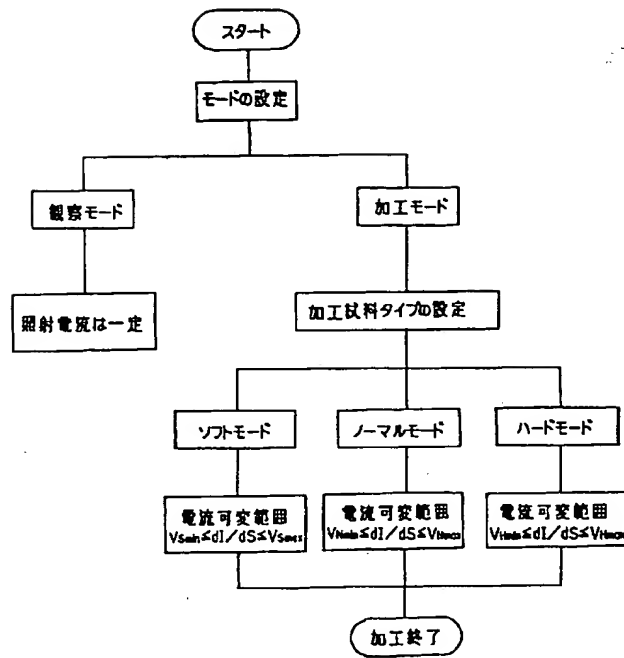
【図2】



【図3】



【図4】



THIS PAGE BLANK (USPTO)